

Article

제주도 문섬 조하대에 서식하는 연산호군락의 태풍에 의한 영향 분석

강도형¹ · 송준임² · 최광식^{1*}

¹제주대학교 해양과학부
(690-756) 제주도 제주시 아라1동
²이화여자대학교 자연과학대학 생명과학과
(120-750) 서울시 서대문구 대현동 11-1

Image Analysis of Typhoon Impacts on Soft Coral Community at Munseom in Jeju, Korea

Do-Hyung Kang¹, Jun-Im Song², and Kwang-Sik Choi^{1*}

¹Faculty of Ocean Science, College of Ocean Science
Cheju National University, 1 Ara 1-Dong, Jeju 690-756, Korea

²Department of Life Sciences, Division of Natural Sciences
Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Abstract : Impacts of Typhoon Maemi on a soft-coral community located on subtidal cliff at Munseom, Jeju were investigated in this study using underwater photography. Typhoon Maemi hit Jeju Island in late September 2003 and its impact was strong enough to destruct most shallow water sessile benthos including soft corals. To estimate numbers and size of soft-coral colonies, a line transect was installed on the cliff at depth from 3 to 9 m and photographs were taken serially by every 1 m. From each 1 × 1 m underwater photograph, species and size of soft-coral colony was determined. Number of soft-coral colony and its percent coverage (PC) in each 1 m² quadrat was calculated. Soft corals *Scleronephthya gracillimum*, *Dendronephthya gigantea*, *D. putteri*, *D. spinulosa* and *D. castanea* were identified from the photographs. *Dendronephthya* sp. was mainly distributed at 3-6 m while *S. gracillimum* was mostly occurred at 6-9 m. A survey conducted before the typhoon showed that number of the soft-coral colonies at 3-4 m, 4-5 m, 5-6 m, 6-7 m, 7-8 m and 8-9 m was 17, 24, 20, 23, 18 and 30 colonies/m² or 21, 48, 36, 28, 24 and 43%, respectively. After the typhoon, number of soft-coral colonies in the transect increased, 31, 35, 27, 10, 21 and 50 colonies/m² while PC was remarkably decreased as 21, 23, 21, 5, 9 and 13%, respectively. Our data suggested that the impact was limited in larger colonies; larger soft coral colonies were selectively destroyed and removed while the small colonies underneath the larger colonies remained undestroyed.

Key words : 연산호(soft coral), 태풍(typhoon), 영상분석(image analysis), 문섬(Munseom)

1. 서 론

열대성 저기압(태풍, typhoon)은 열대 해상에서 발생하여 중·고위도 지방으로 이동하며 강한 폭풍우를 동반하

여 재산과 인명에 많은 피해를 준다. 필리핀 근해에서 발생하여 동부 아시아로 이동하는 열대성 저기압의 한 종류이다. 우리나라 주변 해양에서 발생하는 해난 중 많은 부분이 태풍에 동반된 재해로서, 태풍에 의한 해난의 발생은 일년 중 8월이 가장 많으며, 연도별로는 1959년 Sarah호에 의해 가장 많이 나타났는데(Park et al. 1991), 2003년 9월

*Corresponding author. E-mail : skchoi@cheju.ac.kr

한반도 남부를 강타한 태풍 Maemi는 이 보다 더 큰 피해를 준 태풍이다(Korea Meteorological Administration 2003).

우리나라 뿐만 아니라 국외의 경우, 태풍피해에 관한 과학적 보고는 대부분 육상의 재난방지프로그램을 위한 가옥과 농경지 침수 및 수목의 파괴 등과 같은 영향 등을 보고하였고, 열대성 저기압이 미치는 사회·경제적인 영향 등에 초점이 맞춰져 온 것이 사실이다(Foster and Boose 1992; Boose et al. 1994; McDowell 2001; Ramsey III et al. 2001; Holt-Giménez 2002; Kok and Winograd 2002). 그러나 해양의 경우, 태풍에 의한 해양생물의 직접적인 피해 정도를 산정하는 과학적인 접근방법이 어려워 현재까지도 그 연구가 미진하며, 특히 태풍에 의한 풍파가 암반지역에 서식하는 해양동물에게 미치는 영향 및 상관관계를 정량적으로 연구한 예는 전무한 실정이다.

산호초는 다양한 해양생물의 서식지를 제공하며 생태학적으로도 매우 중요한 생태계이다. 근래에는 지구환경변화의 양상을 추론할 수 있는 증거로서도 연구되고 있다(Stone et al. 1999; Walther et al. 2002; Douglas 2003). 산호충류는 전 세계적으로 6,000여종 중 CITES(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora)에서 2,300여종을 무역 규제종으로 지정하고 있으며, 한국에서는 1998년에 환경부 지정 '한국의 멸종위기 및 보호야생 동식물' 중 산호충류 15종을 보호야생종으로 지정한 바 있다. 특히 온대 해역인 우리나라에서는 제주도 해역의 서귀포 문섬, 숲섬 및 범섬 일대는 쿠로시오 난류의 영향으로 연산호류 등이 군집을 이루고 있어 UNEP의 ICRI(International Coral Reef Initiative)에 이미 보고되었을 뿐만 아니라, 세계 해양보존지역 위원회에서도 해양보호지역(Marine Protected Area, MPA)으로 선포하여 보호하려는 계획을 세우고 있다. 이러한 실정임에도 불구하고 국내에서는 지금까지 산호 서식지에 대한 생태학적 연구가 이루어지지 않고 있다. 미국은 플로리다 남부의 Key West 지역의 산호초 복원사업에서 산호군집의 장기적 환경모니터링 기법을 적용한 바 있어, 과거의 파괴적인 연구방법에서 수중사진, 수중비디오 등의 비파괴적이고 반복연구가 가능한 기법으로 전환하는 연구방법에 많은 투자를 하였다(Bright et al. 1987; Gittings et al. 1988; Miller and Carefoot 1989; Menge 1991; Whorff and Griffing 1992). 이러한 방법은 생태계를 정량적으로 분석하며, 사진을 이용함으로써 자료분석에 있어 시각적인 자료까지 포함하는 효과를 더하였고(Bright et al. 1987), 이 환경복원 기법은 후에 텍사스 연안의 산호초 복원사업에 응용되었다(Gittings and Bright 1990). 국내의 경우 이러한 수중촬영에 의한 군집구조 분석방법은 해조류의 연구에서도 이용된 바 있다(Chung et al. 1997).

이 연구는 산호서식지에 대한 비파괴적이고 반복연구가 가능한 수중카메라 및 수중비디오 기법을 도입하여 연산호 군집에 대한 우점 및 성장 등을 정량적으로 분석할 수 있는 방법을 개발하고, 태풍 전후의 변화량을 정량적으로 측정하여 서귀포 연산호군락의 보존을 위한 장기 모니터링 연구의 기초적인 지표로 활용될 수 있으리라 본다.

2. 재료 및 방법

조사지역

조사지역인 문섬(33°13'25"N, 126°33'58"E)은 서귀포의 정남쪽 약 1 km 지점에 있는 무인도로서, 동서의 길이는 약 460 m이며, 높이는 85 m이다. 섬의 북동쪽 가까운 지점에 높이 32 m의 뾰족한 작은 바위섬(일명 새끼섬)이 있다. 문섬이 있는 제주도 남부 해역은 적도 부근에서 발원하여 북상하는 고수온, 고염분의 쿠로시오 난류가 큐우슈 남쪽에서 분리되어 생성된 대마난류의 영향을 받는 곳으로서, 연간 표층수온의 변화는 16~25°C이며, 염분의 변화는 32.2~34.4 psu로서(Choa and Lee 2000; Lee et al.

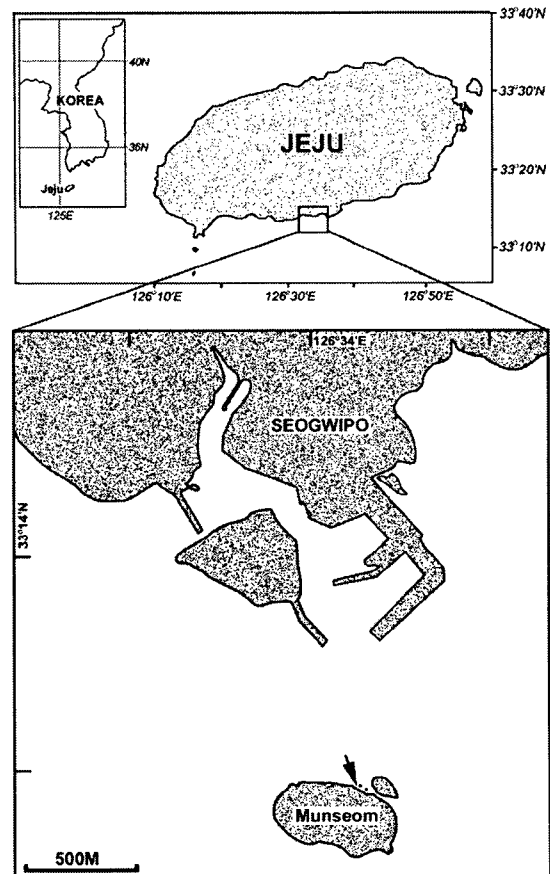


Fig. 1. Location of the study area.

2000) 이 수괴는 제주도 남부 해역의 해양생물 다양성을 높게 한다. 조사지역은 문섬 북쪽에 위치하고, 조석간만에 따라 10~12 m 범위의 수심이며, 풍파에 노출된 지역으로서 조간대와 조하대 모두 파랑의 영향을 직접적으로 받는 지역이다(Fig. 1). 조하대의 암반에는 굴류, 따개비류 등의 부착성 생물들이 밀집하여 서식하며, 특히 연산호 군집은 수심 3 m부터 암반 직벽에 대규모로 부착하여 서식한다(Je *et al.* 2002).

조사방법

조사대상 지역인 문섬의 수심별 연산호군락의 태풍 후 군체수와 분포조성 변화에 대한 정량적 연구는 2003년 3월과 2003년 9월말, 2회에 걸쳐 이루어졌다. 수심별 연산호 군집의 촬영은 수중디지털카메라(Nikon Coolpix 5700)와 수중카메라(Nikon F90)를 동시에 이용하였다. 디지털 카메라의 경우 촬영환경은 Auto Mode, F 4, ISO 800을 설정하였으며 영상의 크기는 각 영상 당 1600×1200 pixel로 설정하였다. 한편 Nikon F90 카메라는 Kodak ISA 100 필름을 이용하였으며 Auto Mode, F 5.6으로 설정하였다. 이들 촬영의 보조로 SONY DCR-PC115 비디오카메라를 비디오하우징(BAJA SONY UNDERWATER HOUSING)에 장착하여 동시에 사용하였다.

수심별 연산호 군락의 촬영을 위해 문섬의 수직벽에 수직촬영 이동선을 고정판과 줄을 사용하여 고정였다. 수심별 1 m²의 면적을 촬영하기 위해서 촬영 전 설치한 줄자를 함께 플라스틱파이프로 수직이동형 1 m-scale bar를 제작하고 촬영 시 고정줄에 삽입하여, 각 수심에 따라 이동시키며 사진에 포함되게 촬영하였다. 또한 이미지분석 시 연산호 군체의 크기에 대한 보정치가 필요하므로 플라스틱파이프 표면에 10 cm마다 띠를 표시하였다. 1 m간 연속적인 수직상승촬영을 실시하여 3~9 m 수심의 6개 정점에서 각 수심별 연산호 군락의 변화를 정량화하였다. 연속 촬영한 각 수심별 정점은 구분을 쉽게 하기 위해 수심 3~4 m는 st.1, 4~5 m는 st.2, 5~6 m는 st.3, 6~7 m는 st.4, 7~8 m는 st.5 및 8~9 m는 st.6으로 표현하였다.

이미지분석 기법

수중카메라에 의해 촬영된 사진들은 스캐너를 이용하여 이미지로 만들어 저장하고, 디지털카메라에 의해 촬영된 디지털 이미지는 컴퓨터에 저장 후 이미지 분석에 사용하였다. 분석에 쓰인 이미지는 연산호류 군체의 계수작업과 면적측정을 용이하게 하기 위해 정점별 원본 이미지상의 x 축과 y 축에 동일한 1 m-scale bar를 복사하여 삽입시키고, 이미지회전 틀을 이용하여 정사각형의 1 m²-방형구 모습으로 이미지 편집작업을 하였다. 이후 각 정점별 1 m²-방형구 내부에 존재하는 연산호류 군체들의 군체수, 크기

및 피도는 편집된 이미지와 컴퓨터영상분석장치를 이용하여 계수 및 측정하였다. 각 요인들을 산정하기 위한 보정치는 컴퓨터영상분석 시 연산호류 군체와 함께 촬영한 수직이동형 1 m-scale bar에 표시한 10 cm 띠를 사용하였다.

분석에 쓰인 각 연산호 군체는 평면화 된 이미지이므로 이미지분석을 위한 초기조건 중 분석할 이미지를 구성하는 단일 pixel의 크기는 분석장치의 소프트웨어 틀을 사용하여 측정하였고, 단일 pixel의 크기는 4.24×4.24 mm로서 모든 분석의 scale이 되며, 이를 초기조건으로 사용하였다. 이미지에 나타난 각 연산호류 군체들의 크기는 군체 외곽선 내부에 존재하는 pixel들의 면적합(cm²)으로 정의하였다. 연산호류의 각 방형구 당 피도(percent coverage)는 연산호 군체들의 면적합과 1 m²-방형구 면적의 비율로 나타냈다. 연산호류가 수심별 방형구내에서 차지하는 피도의 산정방법은 Kang *et al.*(2003)의 방법을 따랐다. 이후 태풍 전후의 방형구 내 연산호류 군체수의 증감, 군체 크기 및 피도의 변화를 구하고 비교하였다. 현장에서 촬영한 실험지역의 연산호류는 Song(2000)의 기준에 따라 현장 및 실험실에서 각각 동정 분류하였다.

3. 결 과

실험지역의 우점 연산호 및 서식 수심별 변화

촬영지역에 우점하여 서식하는 연산호류는 해계두목(Order Alcyonacea) 곤봉바다맨드라미과(Family Nephtheidae) 내의 바다맨드라미속(*Genus Scleronephthya*)에 속하는 분홍바다맨드라미, *Scleronephthya gracillimum* (Song 1976)와 수지맨드라미속(*Genus Dendronephthya*)에 속하는 큰수지맨드라미(*Dendronephthya gigantea*), 자색수지맨드라미(*Dendronephthya putteri*), 가시수지맨드라미(*Dendronephthya palaoensis*) 및 밤수지맨드라미(*Dendronephthya castanea*) 등이다(Rho and Song 1977) (Fig. 2).

Table 1은 각 정점별로 우점하고 있는 수지맨드라미류와 분홍바다맨드라미의 태풍 전후 수심별 군체수, 피도 및 평균크기의 결과이다. 2003년 3월의 경우, 수심 3~6 m인 st.1~3은 수지맨드라미류(*Dendronephthya* spp.)가 평균 18군체로서 우점하여 분포하고 있었으며, 수심 6~8 m인 st.4~5는 수지맨드라미류와 분홍바다맨드라미(*S. gracillimum*)의 군체수가 유사하였다. 수심 8~9 m인 st.6은 수지맨드라미류 2군체를 제외하고는 분홍바다맨드라미가 우점하여 분포하고 있었다. 2003년 9월의 경우, st.1, 2, 4와 5는 수지맨드라미류(*Dendronephthya* spp.)가 우점하여 분포하고 있었으며, st.3는 수지맨드라미류와 분홍바다맨드라미가 비슷한 군체수로 나타났다. st.6인 수심 8~9 m의 암반 직벽에는 수지맨드라미류는 없었고, 분홍바다맨드라미가 우점하여 분포하고 있었다. 2003년 3월의 각

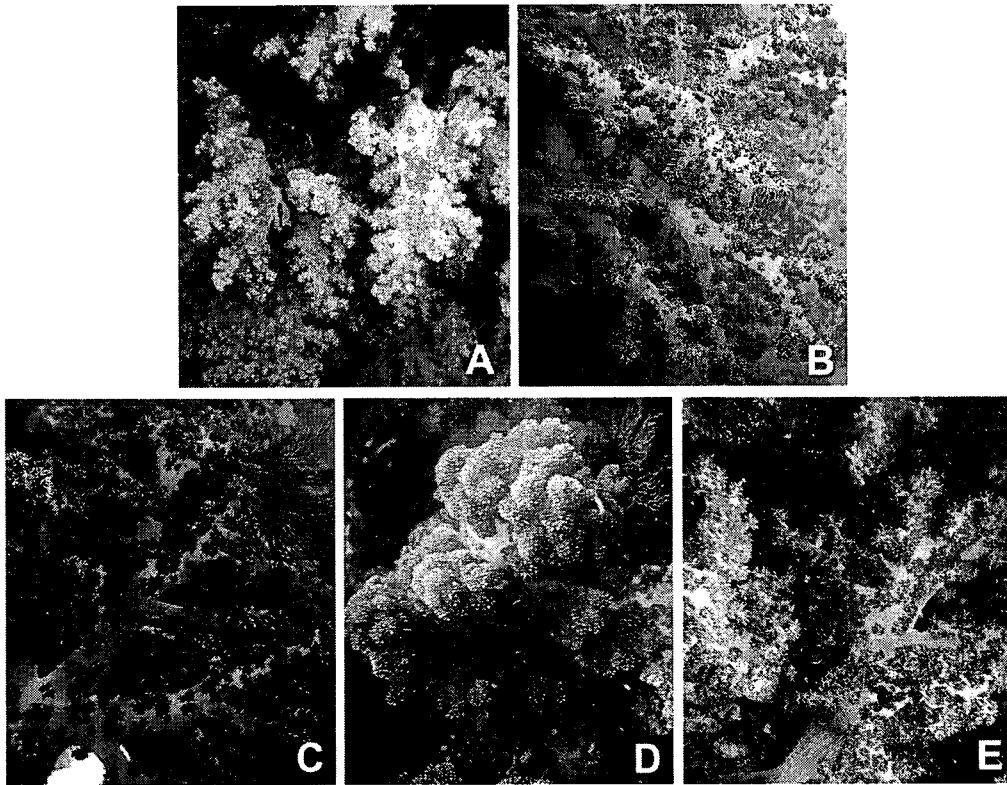


Fig. 2. Photographs of dominated soft-corals in the study area. A: *Scleronephthya gracillimum*, B: *Dendronephthya putteri*, C: *D. gigantea*, D: *D. palaoensis*, E: *D. castanea*.

Table 1. Number of each species, percent coverage and mean size of *Dendronephthya* spp. and *Scleronephthya gracillimum* at 6 1-m² quadrats in before and after typhoon.

Sampling dates	Dominated species	Stations (depth)					
		St.1 (3-4 m)	St.2 (4-5 m)	St.3 (5-6 m)	St.4 (6-7 m)	St.5 (7-8 m)	St.6 (8-9 m)
Mar. 2003	<i>Dendronephthya</i> spp. (N)	17	24	14	11	8	2
	Percent coverage (%)	21.3	47.7	20.6	5.6	9.2	4.9
	Mean size (cm ²)	125.1	198.6	146.8	50.7	114.9	244.3
	<i>Scleronephthya gracillimum</i>	0	0	6	12	10	28
	Percent coverage (%)	0.0	0.0	15.3	22.5	14.6	37.9
	Mean size (cm ²)	0.0	0.0	255.1	187.3	145.8	135.5
Sep. 2003	<i>Dendronephthya</i> spp.	31	35	14	9	16	0
	Percent coverage (%)	21.5	23.3	15.1	4.5	6.9	0.0
	Mean size (cm ²)	69.5	66.5	107.5	49.7	43.4	0.0
	<i>Scleronephthya gracillimum</i>	0	0	13	1	5	50
	Percent coverage (%)	0.0	0.0	5.8	0.1	1.8	12.5
	Mean size (cm ²)	0.0	0.0	44.5	14.4	35.3	25.1

수심별 피도는 수지맨드라미류인 경우 st.6에서 4.9%로 가장 낮았고 st.2에서 47.7%로 가장 높았으나, 태풍 후인 9월에는 두 정점 모두 낮아져 st.2에서는 23.3%, st.6에서는 서식하던 수지맨드라미류가 태풍의 영향으로 모두 탈락하

였다. 수지맨드라미류의 피도 변화가 거의 없는 정점은 st.1과 st.4였다. 분홍바다맨드라미류인 경우, 2003년 3월의 각 수심별 피도는 수지맨드라미류와는 달리 st.6에서 37.9%로 가장 높았고 st.1과 2에서는 서식하지 않았다. 태

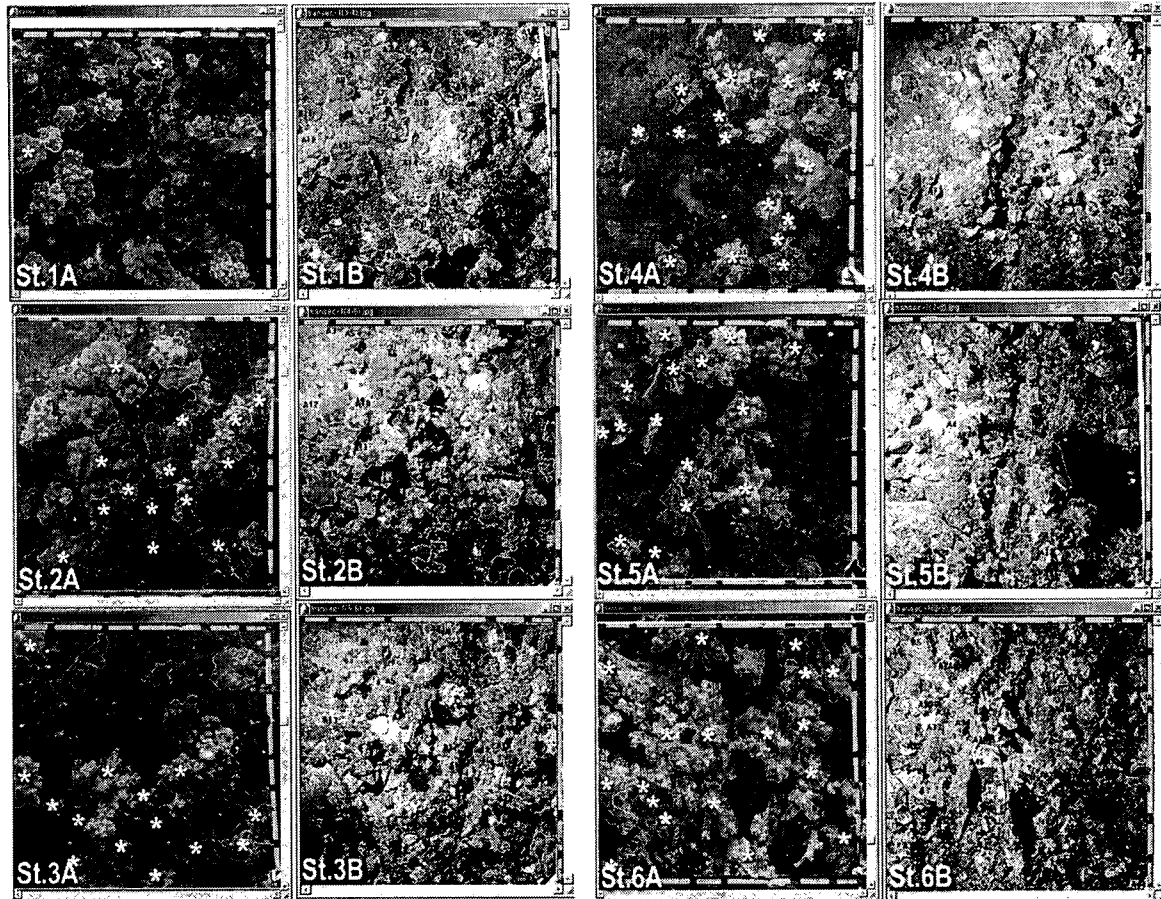


Fig. 3. Analyzed images of 12 1-m² quadrats in two sampling dates. White plots are indicating detached soft-corals after typhoon impact. A: March 2003, B: September 2003.

풍 후인 9월에 st.6에서는 약 25%의 최대 감소를 보였고, 다른 정점에서도 평균 15% 정도의 감소를 보였다. 태풍 전후의 평균 군체크기는 st.4를 제외하고는 수지맨드라미류와 분홍바다밴드라미에 관계없이 모두 감소하였다.

태풍 전후 연산호류의 군체수, 평균크기 및 피도 변화

Fig. 3은 컴퓨터영상분석에 용이하도록 편집작업을 거쳐 처리된 이미지로서 태풍 전후의 정점별 1m²-방형구 모습이다. 각 정점별 사진을 이용하여 태풍 전후의 1m²-방형구 내 전체 연산호류의 출현 군체수, 평균크기 및 피도의 변화를 나타낸 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 태풍 전후인 3월과 9월의 각 정점에서 출현한 연산호류는 각각 17~30군체/m², 10~50군체/m²의 범위를 보였고, 평균크기는 각각 121.9~198.6 cm², 25.1~77.1 cm², 피도는 각각 21~48%, 5~23%의 범위를 보였다. 수심 3~4 m인 st.1은 태풍 전후로 군체수의 경우 14군체 증가하였으나 평균크기에 있어서는 55.6 cm² 감소가 있었고, 피도는 21%로서

변화가 없었다. 수심 4~5 m인 st.2의 경우, 3월에 측정된 연산호류 군체들의 평균크기는 198.6 cm²으로서 다른 정점에 비해 가장 컸다. 태풍 후의 군체수는 11군체가 증가한 것으로 관찰되었으나, 평균크기에 있어서는 132.1 cm²가 감소하였고, 3월에 48%였던 피도가 9월에 23%로서 25%나 감소하여 9월의 다른 정점에서 나타난 피도에 비해 상대적으로 낮았다. 수심 5~6 m인 st.3에서 관찰된 태풍 전의 군체들은 20군체로서 태풍 후의 연산호류는 27군체로 7군체 증가하였으나, 평균크기에 있어서는 102.1 cm² 감소하였고, 3월에 36%였던 피도가 9월에 21%로서 15% 감소하였다. 수심 6~7 m인 st.4는 연산호류의 군체수가 11군체 증가하였으나, 평균크기는 121.9 cm²로 다른 정점에 비해 가장 작았다. 3월에 28%였던 피도가 9월에 5%로서 23% 감소하였다. 수심 7~8 m인 st.5는 연산호류의 군체수, 평균크기 및 피도가 1번 정점과 유사하지만 태풍 후의 연산호류는 4군체만이 증가하였다. 평균크기에 있어서는 75.6 cm² 감소하였고, 3월에 24%였던 피도가

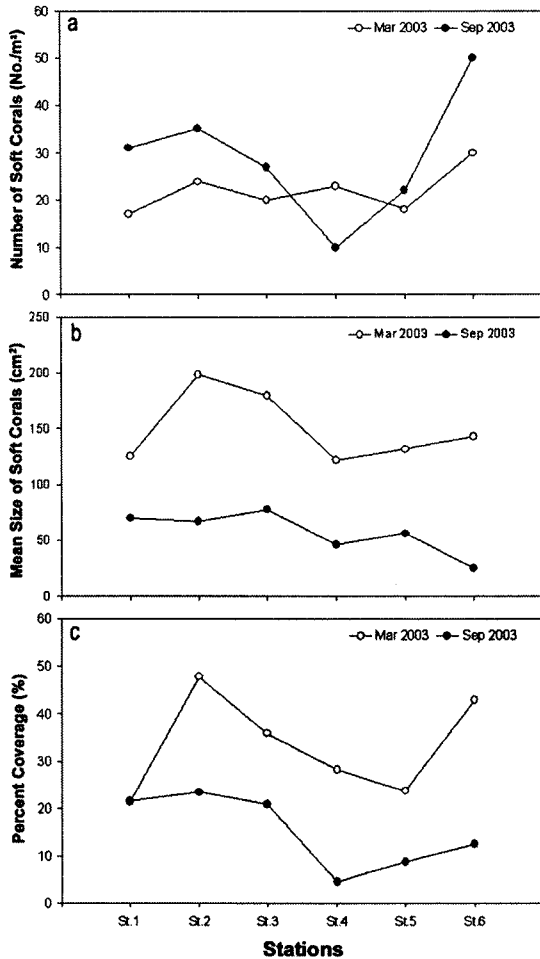


Fig. 4. Counted number, mean size and percent coverage of the soft-corals in 6 stations assessed by image analysis in two sampling dates.

9월에 9%로서 피도는 15% 감소하였다. 정점의 제일 하부인 수심 8~9 m의 st.6에서 3월에 관찰한 연산호류가 30군체로서 다른 정점에 비해 가장 많았고, 평균크기가 142.8 cm²이며, 피도 또한 43%로서 높았다. 그러나 태풍 후의 촬영된 연산호류는 20군체가 증가하였으나, 평균크기에 있어서는 25.1 cm²로서 3월에 비해 117.7 cm²가 감소하였고, 피도 또한 30% 감소하여 다른 정점에 비해 가장 높은 감소율을 보였다. 결론적으로 수심 4~6 m인 st.2~3에 우점하여 서식했던 수지맨드라미류와 수심 8~9 m인 st.6에 우점했던 분홍바다맨드라미는 태풍의 영향을 가장 많이 받은 연산호류인 것으로 산정됐다.

태풍 후인 9월에 측정된 연산호류 각 군체 크기의 최소값과 최대값 또한 태풍 전인 3월에 비해 크게 낮아졌음을 알 수 있다. 특히 각 정점별 연산호류의 크기는 약 80~100 cm² 정도나 감소했음을 보여준다. 그러나 각 정점별

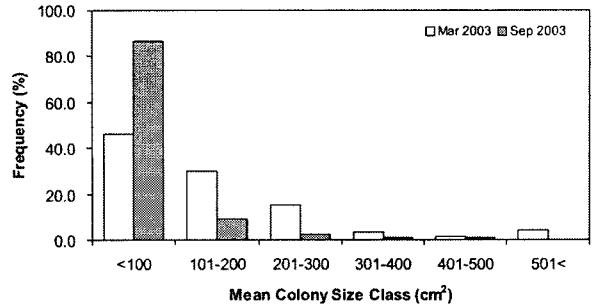


Fig. 5. Frequency of various size classes of soft-coral colony in two sampling dates.

출현한 연산호류 군체수는 3월보다 9월에 많았다. 이는 3월에 실시한 수중 촬영 시 큰 군체들에 의해 가려진 것으로 생각되며, 작은 크기의 연산호류 군체들이 부착하여 서식하는 것을 의미한다. 정점별 태풍 전후의 연산호류 평균 크기의 변화를 고려했을 경우, 각 정점에 관계없이 평균크기가 100 cm² 이상인 연산호류 군체들이 소형인 군체들보다 태풍에 의한 영향을 더 크게 받은 것으로 나타났다 (Fig. 5).

4. 고 찰

방형구-수중촬영기법을 적용한 컴퓨터영상분석

해양보호구역에 서식하는 부착동식물의 군집구조, 대상 분포 및 개체군변동의 연구방법에 있어 직접적인 채집에 의한 분석은 단기적인 측면에서는 소기의 연구성과를 얻을 수는 있으나 장기적인 측면에서 접근할 경우, 인위적인 실험대상생물의 파괴로 인하여 주기적인 관찰방법에 의한 지속적인 연구가 어려워진다. 또한 Lundälv(1976)와 Chung *et al.*(1997)은 직접채집에 의한 분석방법은 일정면적에 서식하는 실험대상시료의 완벽한 채집이 거의 불가능한 단점을 가지고 있다고 보고하였다. 일반적으로 부착성 해양생물의 군집구조 및 공간분포를 분석하기 위해서는 정량적인 채집을 통한 중량측정과 피도 및 빈도를 산정하는 방법이 사용되었으나(Drew 1971; Menge and Farrell 1989), 근래에는 현장에 서식하는 실험대상군집 혹은 실험개체군의 직접채집 방법을 지양하는 추세이다(Lundälv 1976; Littler and Littler 1985). 최근에는 현장에서 촬영한 사진을 컴퓨터영상분석장치와 병행·분석하여 대상생물의 면적측정 및 공간분포와 저서동물의 부착 후 크기변화 등을 정량적으로 측정하는데 적용되고 있다(Sutherland 1990; Whorff and Griffing 1992; Chung *et al.* 1997). 그러나 1990년대 중반까지는 방형구-수중촬영기법을 이용하여 촬영한 사진을 컴퓨터영상분석장치를 통해 분석하는 작업이 시간이 많이 소모되고 고가의 분석장

비라는 단점으로 인해 많이 활용되지 않았으나(Whorff and Griffing 1992), 개인용 컴퓨터 및 그래픽 작업을 위한 소프트웨어들의 상용화 이후, 이런 단점들은 많이 없어졌다고 볼 수 있다. 이와 더불어 디지털카메라의 사용은 고 해상도의 이미지를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 이미지스캔 시간을 절약할 수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 한정된 다이빙시간 내에 지정된 실험지역의 생물군락을 이미지를 이용하여 데이터화 할 수 있고, Fig. 3에서 볼 수 있듯이 컬러이미지 데이터는 반영구적인 보존성과 더불어 생물군집 혹은 환경요인에 의한 생물군집의 변화양상을 단·장기적으로 모니터링할 수 있는 원본자료가 될 수 있을 것으로 본다.

그러므로 이 연구에서 사용한 연속적인 1 m²-방형구 내 연산호류의 수중촬영에 의한 모니터링 기법은 태풍 전후 연산호류 서식지의 군집변화를 정량화하는데 있어서 적절한 방법으로 생각된다. 그러나 태풍 후에 나타난 군체크기가 작은 연산호류 혹은 다른 부착생물의 연구에 있어서는 상대적으로 작은 크기의 방형구를 이용하여 보다 확대된 사진을 촬영함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있을 것이며 향후 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

연산호류의 수직분포 패턴

실험지역에 우점하여 서식하고 있는 연산호류인 수지맨드라미류(*Dendronephthya* spp.)와 분홍바다맨드라미(*S. gracillimum*)의 수심별 수직분포는 대체로 뚜렷하게 나타났다. 수심 3~6 m에서는 수지맨드라미류, 수심 6~8 m에서는 두 종류의 연산호류가 유사하게 분포하였으며, 수심 8~9 m에서는 분홍바다맨드라미(*S. gracillimum*)가 우점하였다(Table 1). 대체로 표층에 가깝게 분포하는 수지맨드라미류는 조류의 영향을 크게 받는 곳에서 서식하며 (Fabricius *et al.* 1995), 이는 수중의 먹이용을 원활하게 하기 위한 전략이라고 보고되고 있다(Dahan and Benayahu 1997). 일반적으로 조하대에 서식하는 연산호류의 수직분포는 수심과 연관된 수온, 염분, 광조건, 파랑의 영향 등 물리적인 요인에 의해 결정된다(Jokiel and Coles 1977; Coles and Jokiel 1978; Wellington 1982a). 이 연구에 있어 수지맨드라미류와 분홍바다맨드라미의 수심에 따른 분포가 다른 이유는 수심에 따른 광조건, 조류의 세기 및 먹이섭취 등과 관련이 있는 것으로 추정되므로 향후 수직분포에 대한 연구에서는 실험지역의 환경요인 분석이 필요한 것으로 보인다.

2003년 3월과 9월에 정점별로 출현한 연산호류를 관찰한 결과, 대부분의 정점에서 연산호류의 군체수는 증가하였으나 크기는 작아졌다(Table 1, Fig. 4). 9월에 관찰된 작은 크기의 연산호류는 큰 군체들에 의해 촬영이 되지 않았던 작은 군체들로서, 성체로 볼 수 있는 큰 군체들의

번식에 의해 부착된 어린 연산호류 무리이다. 그러므로 실험지역에 있어 군체를 이루는 연산호류의 특성상 어린 군체들의 부착율이 높은 서식수심은 이 지역에 우점하여 서식하는 각 연산호류의 적정 서식처임을 나타내고 있는 것으로도 해석이 가능하다. 그러므로 Table 1의 태풍 전후 피도, 군체수 및 평균크기에서 볼 수 있듯이 수지맨드라미류가 서식하기에 가장 좋은 수심은 4~6 m이며, 분홍바다맨드라미가 서식하기에 좋은 수심은 8~9 m인 것으로 사료된다. 향후, 문섬에 서식하는 연산호류의 수심과 광조건에 따른 먹이조건 및 번식특성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 한편 이 연구에서 관찰된 연산호류 수직분포의 결과는 문섬에 서식하는 연산호류 군집의 인위적인 훼손이나 물리적 변화에 의한 수심별 이식 및 복원연구에 있어 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

태풍 전후의 연산호류 변동

태풍영향에 의한 연산호군락의 변동을 정량화한 이 연구에 있어서 두 연구기간은 6개월의 차이가 있어 연산호군락의 변화 요인을 태풍의 영향으로만 간주하기에는 다소 긴 기간이라고 볼 수 있다. 2003년 3월부터 문섬 연산호군락지의 장기모니터링을 위한 조사방법 개발을 위해 실험적으로 적용했던 여러가지 방법들 중 가장 적절한 방법으로 이 연구에 쓰인 방법을 채택하게 되었고, 그 실질적 적용은 9월에 이루어졌다. SCUBA를 이용하여 예비촬영실험을 실시한 기간(2003년 3월~8월) 중 실험대상 직벽에 서식하는 연산호군락의 변동은 거의 없었으나, 태풍 '매미'가 통과하고 난 9월 중순에는 시각적으로도 대단히 큰 변화를 보여 개발된 정량적 분석방법의 적용을 통해 두 시기의 연산호군락의 비교연구를 하게 된 계기가 되었다. 일반적으로 연산호군락지에 심각한 영향을 주는 자연적인 요소들은 태풍, 폭풍파, 부유물의 빠른 퇴적작용 및 담수유입 등이 있으며, 인간활동에 의한 오염물질 유입 등이 대표적인 것들이다(Rajasuriya *et al.* 2000). 문섬의 연중 수온과 염분변화는 13.7~26.6°C와 30.6~35.5 psu로서(Choa and Lee 2000), 겨울철 수온이나 여름철 강우에 의한 영향도 크게 받지 않아 연산호의 사망이나 탈락에 큰 영향을 주지는 않는다(Yap and Molina 2003). 또한 Choa and Lee(2000)가 보고한 문섬의 연중 유광층의 변화가 겨울철이 약 25 m로 가장 얇고, 여름철이 약 35 m로 깊은 결과로 추정해 봤을 때, 실험기간 중 여름철에 일어날 수 있는 부유물의 퇴적작용에 의한 영향은 적다고 볼 수 있다. 특히 Yap *et al.*(1998)은 산호류의 사망률을 증가시키는 가장 중요한 물리적인 요소는 해수유동의 정도라고 보고하였다. 그러므로 문섬에 서식하는 연산호군락의 변화는 두 기간의 차이가 있음에도 불구하고 태풍이라

는 물리적인 영향에 의해 가장 큰 피해를 받았다고 볼 수 있다.

이 연구에서 관찰된 태풍의 영향에 의한 연산호류 탈락은 연산호류의 크기, 부착기질의 종류와 깊은 연관성이 있는 것으로 생각되며, 태풍 통과 시 조석간만의 차이 및 풍파의 세기 등과도 연관성을 가지는 것으로 추정된다. 현장 관찰 결과와 더불어 Je et al.(2002)의 보고에 의하면 문섬 조하대 직벽에는 굴초(oyster reef)가 5~9 m 사이에 많이 분포한다. 현장 관찰 결과, 표층에 가까운 수심 3~4 m에 서식하는 연산호류들은 주로 암반에 부착하여 서식하며, 수심 4~5 m 이하의 수심부터는 대부분의 연산호류들이 굴 패각 위에 부착하여 서식한다. 또한 태풍 후에도 st.1의 피도가 변하지 않은 현상에서 볼 수 있듯이 태풍의 영향을 직접적으로 받는 지역에서는 서식하는 해양생물의 부착기질의 종류에 따라 피해정도가 다르므로(Cole et al. 1999), 굴 패각과 같은 기질에 부착하여 서식하는 연산호류들은 암반에 부착한 연산호류들에 비해 탈락될 가능성이 더 높다고 볼 수 있다. 연구지역에 서식하는 부착기질로서의 굴초는 연산호류에게 있어 동·식물플랑크톤과 같은 먹이원의 공급면에서는 장점이 될 수 있으나(Enright et al. 1983; Lodeiros and Himmelman 1996), 태풍 전후의 관찰 결과, 수심 3~4 m인 1번 정점을 제외한 다른 정점에서의 연산호류 피도가 급격히 감소한 사실은 이 지역 연산호류의 부착기질이 태풍과 같은 물리적으로 급격한 변화를 일으키는 요인에 대해 상대적으로 약하다는 것을 보여준다. 이 연구에서는 두 실험기간 사이의 태풍에 의한 물리적 요소의 변화정도를 나타내는 정확한 자료는 없으나, 군체를 이루는 연산호류들은 풍파와 와류에 약한 경향이 있으므로(Manuel 1981), 태풍 통과 시에 연구지역의 풍파가 강했음을 간접적으로 시사한다고 볼 수 있다. 또한 Korea Meteorological Administration(2003)에 따르면 이 시기에 제주를 통과한 태풍인 Maemi의 최대 순간풍속이 제주에서 60.0 m/s(2003-09-12, 18:11)로서 우리나라에서 관측한 최대 순간풍속 값을 경신하였고, 남해안 해수면의 유의 파고와 간·만조차는 각각 7 m와 2.5 m로 태풍이 접근하면서 평상 시보다 약 60 cm 이상의 기상조가 추가되어 그 피해가 심각하였다고 보고하였다.

태풍이 통과한 후인 2003년 9월의 경우, 3월에 비해 실험지역에 집중적으로 분포하고 있던 연산호류 군체들은 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 시각적으로도 부분적인 감소를 관찰할 수 있다. 그러나 9월에 관찰한 연산호류의 군체수는 증가하였다(Table 1). 이런 현상은 태풍 후 상대적으로 큰 군체들은 풍파와 와류에 의해 탈락되었으나, 큰 군체들에 가려져 있던 작은 군체들을 현장에서 촬영하지 못한 것이 주 원인인 것으로 생각된다. Pool et al.(1977)과 Cole et al.(1999)은 홍수림(mangroves)이 허리케인의 영

향을 받을 경우, 다수의 큰 개체들은 유실되나, 상대적으로 작은 크기의 개체들이 높은 밀도를 유지하는 현상을 종종 관찰할 수 있다고 보고하고 있다. 그러므로 작은 군체들이 우점하는 현상은 큰 크기의 연산호류가 태풍의 영향에 의해 탈락이 심했던 반면, 상대적으로 작은 크기의 군체들은 큰 군체들 보다 풍파와 와류의 영향을 상대적으로 덜 받아 부착기질에서 떨어질 확률이 낮았던 것으로 생각된다(Fig. 5).

여름철 극심한 피해를 종종 일으키는 태풍은 안정된 생태계를 파괴하는 부정적인 측면과 기초생산력 증진, 새로운 공간 창출에 의한 다양한 종의 가입 등과 같은 긍정적인 측면을 동시에 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 해양에 있어 이런 태풍의 영향과 해양생태계의 관계는 아직까지 잘 알려져 있지 않은 실정이다. 특히 해양보호구역에 서식하는 보호대상 우점종의 풍파에 의한 감소 및 탈락현상은 장기적인 보호종의 보전 및 새로운 종의 가입에 대한 예측을 어렵게 하고, 해양보호구역에서의 생태계 복원 사업 계획 시 큰 변수로 존재할 가능성이 있다. 제주도에 위치한 서귀포 문섬 조하대의 산호군집은 생물다양성을 위한 목적뿐만 아니라, 국내외적으로 보호되어야 할 정도의 희귀성과 자연미를 지니고 있으므로 장기적인 보존대책이 강구되어야 한다. 그 일환으로서 이번 연구의 결과는 태풍 전후의 실험지역 내 연산호군락의 피해를 정량적으로 조명하는 기회가 되었으며, 태풍피해에 의한 문섬의 연구지역은 다음과 같이 재조명해 연구해 볼 수 있을 것으로 생각된다. 첫째, 태풍 후인 9월에 촬영된 작은 군체들은 유실된 큰 군체들과의 공간 및 먹이경쟁에서 더 좋은 조건을 가지게 될 것으로 보인다. 일반적으로 연산호류의 높은 밀도는 번식과 연산호간의 공간경쟁에 의한 결과라고 보고되고 있다(Benayahu and Loya 1981; Wellington 1982b). 그러므로 이러한 조건에서 작은 군체들의 성장은 상대적으로 빠를 것으로 사료되고, 이번 연구의 방법이 이용하여 작은 군체들의 자연적 성장을 연구할 수 있는 기회가 될 것으로 생각된다. 둘째, 태풍피해를 입은 연구지역은 큰 개체들의 탈락으로 인하여 연산호류 유생 및 어린 개체들이 부착할 수 있는 공간을 상대적으로 많이 제공하기 때문에 자연상태에서 태풍 전 규모의 연산호군락의 회복시기 및 정도, 연산호군락의 초기형성 과정을 파악할 수 있는 조건을 재구성해주었다고 할 수도 있다. 그러므로 태풍 출현 전후의 연산호군락 파괴 현상을 정량적으로 산정하여 연산호군락이 다시 성장하여 재복원되는 일련의 과정을 장기적으로 모니터링하는 연구는 해양보호구역의 지속가능한 이용 차원에서 대단히 중요하다 볼 수 있다. 향후, 문섬 연구지역에 서식하는 어린 개체들의 가입 및 성장을 지속적으로 모니터링하여 연산호군락의 회복정도를 파악하고자 한다.

사 사

문섭의 연산호군락 조사 시 SCUBA 다이빙과 수중촬영에 있어 많은 도움을 주신 제주산호연구소 이창호 강사와 TDI SDI/KOREA의 정의욱 강사에게 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 “보호종산호자원의 대량증식 및 생태계복원기술개발”의 지원으로 이루어졌으며, 이에 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

- Benayahu, Y. and Y. Loya. 1981. Competition for space among coral reef sessile organisms at Eilat, Red Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 31, 514-522.
- Boose, E.R., D.R. Foster, and M. Fluet. 1994. Hurricane impacts to tropical and temperate forest landscapes. *Ecol. Monogr.*, 64, 369-400.
- Bright, T.J., S.R. Gittings, A. Choi, and R.R. Barnett. 1987. Coral recovery following the grounding of the freighter M/V WELLWOOD on Molasses Reef, Key Largo National Marine Sanctuary. Final Report to NOAA Office of Coastal and Estuarine Systems, Washington, D.C. Contract No. NA85AA-H-CZ015.
- Choa, J.-H. and J.-B. Lee. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: I. Environmental properties and community structures of phytoplankton. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 『The Sea』, 5, 59-69. (In Korean)
- Chung, H.S., Y.S. Oh, J.-G. Je, and S.-K. Lee. 1997. An application of underwater photogrammetry using image analysis for estimation of macroalgal standing stocks. *Underwater Sci. Tech.*, 1, 15-24. (In Korean)
- Cole, T.G., K.C. Ewel, and N.N. Devoe. 1999. Structure of mangrove trees and forests in Micronesia. *Forest Ecol. Manag.*, 117, 95-109.
- Coles, S.L. and P.L. Jokiel. 1978. Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hermatypic coral *Montipora verrucosa*. *Mar. Biol.*, 49, 187-195.
- Dahan, M. and Y. Benayahu. 1997. Clonal propagation by the azooxanthellate octocoral *Dendronephthya hemprichi*. *Coral Reefs*, 16, 5-12.
- Douglas, A.E. 2003. Coral bleaching—how and why? *Mar. Pollut. Bull.*, 46, 385-392.
- Drew, E.A. 1971. Botany. p. 330. In: *Underwater Science—An Introduction to Experiments by Divers*. ed. by J.D. Woods and J.N. Lythgoe. Oxford University Press, London.
- Enright, C., D. Krailo, L. Staples, M. Smit, C. Vaughan, D. Ward, P. Gaul, and E. Borgese. 1983. Biological control of fouling algae in oyster aquaculture. *J. Shellfish Res.*, 3, 41-44.
- Fabricius, K.E., A. Genin, and Y. Benayahu. 1995. Flow-dependent herbivory and growth in zooxanthellae-free soft corals. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 1290-1301.
- Foster, D.R. and E.R. Boose. 1992. Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in Central New England, USA. *J. Ecol.*, 80, 79-98.
- Gittings, S.R., T.J. Bright, A. Choi, and R.R. Barnett. 1988. The recovery process in a mechanically damaged coral reef community: recruitment and growth. *Proc. 6th Int. Coral Reef Symp.*, 2, 225-230.
- Gittings, S.R. and T.J. Bright. 1990. Coral recovery following grounding of the freighter M/V WELLWOOD on Molasses Reef, Key Largo National Marine Sanctuary. Draft Final Report to NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management.
- Holt-Giménez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 93, 87-105.
- Je, J.-G., B.-J. Koo, H.-G. Lee, B.-I. Kim, S.-H. Shin, S.-W. Lee, and J.-H. Lee. 2002. Habitats and zoobenthic species diversity in the coast of Jeju Island, Korea: as a baseline study for conserving coastal and marine biological diversity. *Underwater Sci. Tech.*, 3, 7-117. (In Korean)
- Jokiel, P.L. and S.L. Coles. 1977. Effects of temperature on the mortality and growth of Hawaiian reef corals. *Mar. Biol.*, 43, 201-208.
- Kang, D.-H., I.-Y. Ahn, and K.-S. Choi. 2003. Quantitative assessment of reproductive condition of the Antarctic clam, *Laternula elliptica* (King and Broderip), using image analysis. *Invertebr. Reprod. Devel.*, 44, 71-78.
- Kok, K. and M. Winograd. 2002. Modelling land-use change for Central America, with special reference to the impact of Hurricane Mitch. *Ecol. Model.*, 149, 53-69.
- Korea Meteorological Administration. 2003. Typhoon Maemi description on the internet. Available from WWW: <<http://www.kma.go.kr>> [cited 2004-02-10].
- Lee, J.-B., J.-H. Choa, D.-W. Kang, Y.-B. Go, and B.-C. Oh. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea: II. Community dynamics of phytoplankton and primary productivity. *Algae*, 15, 37-47. (In Korean)
- Littler, M.M. and D.S. Littler. 1985. Nondestructive sampling. p. 251-268. In: *Handbook of phycological methods—ecological field methods: macroalgae*. ed. by M.M. Littler and D.S. Littler. Cambridge University Press,

- Cambridge.
- Lodeiros, C.J. and J.H. Himmelman. 1996. Influence of fouling on the growth and survival of the tropical scallop, *Euvola (Pecten) ziczac* (L. 1758) in suspended culture. *Aquac. Res.*, 27, 749-756.
- Lundälv, T.L. 1976. Stereophotographic method for quantitative studies on rocky bottom biocoenoses. p. 299-302. In: *Underwater Research*. ed. by E.A. Drew, J.N. Lythgoe, and J.D. Wood. Academic Press, London.
- Manuel, R.I. 1981. British Anthozoa. p. 19-22. In: *Synopses of the British Fauna (No. 18)*. ed. by D.M. Kermack and R.S.K. Barnes. Academic Press, London.
- McDowell, W.H. 2001. Hurricanes, people, and riparian zones: controls on nutrient losses from forested Caribbean watersheds. *Forest Ecol. Manag.*, 154, 443-451.
- Menge, B.A. 1991. Relative importance of recruitment and other causes of variation in rocky intertidal community structure. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 146, 69-100.
- Menge, B.A. and T.M. Ferrell. 1989. Community structure and interaction webs in shallow marine hard bottom communities: tests of an environmental stress model. p. 189-253. In: *Advances in ecological research*. ed. by Begon et al. Academic Press, London.
- Miller, K.M. and T.H. Carefoot. 1989. The role of spatial and size refuges in the interaction between juvenile barnacles and grazing limpets. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 134, 157-174.
- Park, J.-K., Y.-K. Kim, and Y.-H. Ahn. 1991. A study on the meteorological disaster in Korean waters, Part I. Shipwreck and typhoon. *Bull. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 27, 56-63. (In Korean)
- Pool, D.J., S.C. Snedaker, and A.E. Lugo. 1977. Structure of mangrove forests in Florida, Puerto Rico, Mexico, and Costa Rica. *Biotropica*, 9, 195-212.
- Rajasuriya, A., H. Zahir, E.V. Muely, B.R. Subramanian, K. Venkataraman, M.V.M. Wafar, S.M. Munjurul Hannan Khan, and E. Whittingham. 2000. Status of coral reefs in South Asia: Bangladesh, India, Maldives and Sri Lanka. p. 95-116. In: *Status of Coral Reefs of the World: 2000*. ed. by C. Wilkinson. Australian Institute of Marine Science.
- Ramsey III, E.W., M.E. Hodgson, S.K. Sapkota, and G.A. Nelson. 2001. Forest impact estimated with NOAA AVHRR and Landsat TM data related to an empirical hurricane wind-field distribution, *Remote Sens. Environ.*, 77, 279-292.
- Rho, B.-J. and J.-I. Song. 1977. A study on the classification of the Korean Anthozoa 3. Alcyonacea and Pennatulacea. *J. Kor. Res. Inst. Bet. Liv., Ewha Womans Univ.*, 19, 81-100. (In Korean)
- Song, J.-I. 1976. A study on the classification of the Korean Anthozoa, 2. Alcyonacea. *Kor. J. Zool.*, 19, 71-92. (In Korean)
- Song, J.-I. 2000. Cnidaria of Korea, 2: Anthozoa. Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), Korea. (In Korean)
- Stone, L., A. Huppert, B. Rajagopalan, H. Bhasin, and Y. Loya. 1999. Mass coral reef bleaching: a recent outcome of increased El Nino activity? *Ecol. Lett.*, 2, 325-330.
- Sutherland, J.P. 1990. Recruitment regulates demographic variation in a tropical intertidal barnacle. *Ecology*, 71, 955-972.
- Walther, G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg, and F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Wellington, G.M. 1982a. Reversal of digestive interactions between Pacific reef corals: mediation by sweeper tentacles. *Oecologia*, 47, 340-343.
- Wellington, G.M. 1982b. Depth zonation of corals in the Gulf of Panama: control and facilitation by resident reef fishes. *Ecol. Monogr.*, 52, 231-241.
- Whorff, J.S. and L. Griffing. 1992. A video recording and analysis system used to sample intertidal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 160, 1-12.
- Yap, H.T. and R.A. Molina. 2003. Comparison of coral growth and survival under enclosed, semi-natural conditions and in the field. *Mar. Pollut. Bull.*, 46, 858-864.
- Yap, H.T., R.M. Alvarez, H.M. Custodio III, and R.M. Dizon. 1998. Physiological and ecological aspects of coral transplantation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 229, 69-84.

Received Sep. 6, 2004
Accepted Dec. 28, 2004